

# CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO ITABIRÍTICO ATRAVÉS DE CÉLULA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA

Angelo Quintiliano Nunes da Silva<sup>1</sup>  
Luiz Cláudio Monteiro Montenegro<sup>2</sup>  
Roberto Galery<sup>2</sup>  
Henrique Dias Gatti Turrer<sup>3</sup>  
Douglas Batista Mazzinghy<sup>3</sup>  
Luiz Carlos de Aquino Junior<sup>4</sup>

## Resumo

As principais plantas de processamento de minério de ferro no Brasil operam através da flotação catiônica reversa. Muitos estudos são realizados buscando a eficiência da flotação através da otimização das variáveis de processo. A célula de flotação pneumática destaca-se pela simplicidade de operação e pelo intenso contato partícula/bolha promovido pelo sistema de alimentação da polpa. Neste estudo, testes em escala de laboratório e piloto foram realizados com uma amostra de minério de ferro itabirítico. O objetivo foi avaliar o desempenho deste equipamento operado com um minério de ferro de baixo teor e traçar um comparativo com testes em célula de flotação convencional. Os resultados obtidos indicam uma potencial aplicação da célula de flotação pneumática para o minério testado. Adequações na granulometria da alimentação e otimizações de processos deverão ser realizadas para que o concentrado atinja os teores de Fe e SiO<sub>2</sub> praticados pela indústria.

**Palavras-chave:** Itabiritos; Flotação pneumática; Minério de ferro.

## ITABIRITE IRON ORE CONCENTRATION BY PNEUMATIC FLOTATION CELL

### Abstract

The main iron ore processing plants in Brazil operate through reverse cationic flotation. Many studies have been conducted in order to improve flotation efficiency by optimization process variables. The pneumatic flotation cell stands out due to the simplicity to and to the intense contact particle/bubble promoted by the pulp feeding system. In this study, laboratory scale and pilot were conducted using a sample of itabirite iron ore. The objectives are evaluating the performance of this device using low grade iron ore, and drawing a comparison with laboratory scale tests on conventional flotation cell. The results indicate the potential application of pneumatic flotation cell to the ore tested. Adjustments in the feed particle size and process optimizations can be performed on the concentrate, reaching Fe and SiO<sub>2</sub> grades used by the industry.

**Keywords:** Itabirite; Pneumatic flotation cell; Iron ore.

## I INTRODUÇÃO

As principais plantas de processamento de minério de ferro no Brasil operam por meio da flotação catiônica reversa. Muitos estudos são realizados buscando a otimização desta etapa através do uso de novos reagentes, diferentes formas de injeção de ar e flotação fracionada com relação ao tamanho das partículas, entre outros.

A flotação pneumática tem sido empregada com sucesso há algumas décadas, principalmente na flotação de carvão e em número menor, na flotação de potássio, magnesita, barita, sais de NaCl e outros, Ören et al. [1]. No Brasil, a flotação é principalmente realizada em baterias de células mecânicas e colunas de flotação.

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: aqns@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Desenvolvimento de Processos, Anglo American, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Desenvolvimento de Processos, MBE Processamento Mineral do Brasil, Belo Horizonte, MG, Brasil.

A célula de flotação pneumática chama a atenção devido a sua simplicidade no controle das variáveis operacionais e à infraestrutura reduzida para a sua implantação, se comparada às células mecânicas e colunas de flotação. Entretanto, sua aplicação no Brasil não está consolidada.

Poucos são os estudos deste equipamento aplicados à flotação de minério de ferro e alguns dos seus resultados de laboratório vêm apresentando números bastante satisfatórios, simplificando etapas do circuito ou aumentando a recuperação conforme dados apresentados por Uliana [2] e Lima [3]. O design e a instalação das células pneumáticas são simples, exigindo fundações menores. Além disso, a célula pneumática se destaca por uma alta produtividade se comparada com o volume dos outros equipamentos.

A diferença de operação entre a célula pneumática e a célula mecânica é que a célula pneumática realiza a aeração antes de a polpa entrar no equipamento e a célula mecânica trabalha com rotor interno à célula. Na primeira, o contato bolha/partícula é muito intenso devido à velocidade com que a partícula percorre o aerador, sendo que o sistema funciona com auto aspiração na grande maioria das aplicações sem a necessidade de utilizar compressores para fornecimento de ar. Outra diferença que se destaca é o pequeno tempo de residência das partículas no equipamento que é inferior ao tempo de residência nas células mecânicas.

Yianatos [4] comenta sobre a vantagem do intenso contato partícula/bolha existente na flotação em célula pneumática (fluxo concorrente) se comparado ao mecanismo para promoção da adesão partícula/bolha (fluxo contracorrente) existente nas colunas e células mecânicas de flotação.

O presente estudo teve como objetivo a realização de testes em escala de bancada e piloto a fim de avaliar o desempenho da célula de flotação pneumática operando com um minério de ferro de baixo teor buscando teor de sílica  $<4\%$  no concentrado para atender o mercado. A eficiência do processo de concentração utilizando célula pneumática foi avaliada através da análise química por faixas granulométricas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de minério de ferro itabirítico (da Mina do projeto Minas-Rio da Anglo American) foram adequadas com relação à distribuição granulométrica para a realização de um ensaio em escala piloto, utilizando flotação pneumática, e de dois ensaios em escala de bancada utilizando flotação em células mecânicas com dois coletores diferentes. O material foi reduzido através de moagem até atingir  $100\% < 150 \mu\text{m}$ . Posteriormente o material foi deslamado para a retirada da fração de ultrafinos ( $< 10 \mu\text{m}$ ). Para evitar a geração de finos, todo o minério foi peneirado inicialmente, separando a fração  $< 150 \mu\text{m}$ . Uma amostra da alimentação foi separada para determinação dos teores por faixa granulométrica.

Para a realização dos ensaios foram utilizados dois equipamentos de flotação. Uma célula pneumática em escala piloto (*Pneufлот®*) com capacidade de 11 litros. Este equipamento possui um condicionador e uma bomba de alimentação que realiza a aeração da polpa antes de ser alimentada na célula. O outro equipamento utilizado foi uma célula de bancada com capacidade de 1,3 litros. A Figura 1 apresenta a imagem dos equipamentos utilizados.



**Figura 1.** Foto da célula pneumática utilizada no teste piloto (esquerda) e da célula mecânica utilizada nos testes de bancada (direita).

A Tabela I descreve as condições dos testes realizados.

Amostragens foram realizadas nos testes para análises químicas e posterior avaliação do desempenho e comparação entre o sistema de flotação em célula mecânica e flotação em célula pneumática. Uma caracterização granuloquímica foi realizada no concentrado da flotação pneumática para avaliar o desempenho da operação de concentração nas diferentes faixas granulométricas através do índice de seletividade de Gaudin.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o resultado do teste realizado na célula de flotação pneumática em circuito fechado e dois testes realizados em célula mecânica utilizando duas aminas diferentes. Na célula pneumática o teor de sílica foi reduzido de 58,05% para 7,20% no afundado. Comparando os dois testes em célula convencional, o teste 1, foi capaz de coletar sílica para o flotado reduzindo a sílica de 58,05% para 26,53% no afundado e o teste 2, utilizando amina 2835,

reduziu a sílica do afundado para 40,93% indicando um menor desempenho utilizando a amina 2835. Comparando o resultado obtido na célula pneumática com o resultado do teste 1 em célula convencional, a célula pneumática ofereceu melhor resposta na redução da porcentagem de sílica no afundado entretanto, não se pode afirmar qual equipamento oferece melhor recuperação metálica abaixo do ponto de valor de  $\text{SiO}_2$  de 26%. Uma análise de liberação feita para este minério mostrou que para atingir uma liberação de 85%, este minério deve estar 100% abaixo de  $53 \mu\text{m}$  segundo Turrer et al. [5]. Este é um possível fator que manteve o valor elevado da sílica no concentrado. As Tabelas 2 e 3 mostram a granuloquímica da alimentação e do concentrado da flotação pneumática respectivamente onde a maior porcentagem da massa e os maiores teores de  $\text{SiO}_2$  estão nas faixas granulométricas superiores a  $53 \mu\text{m}$ .

Outro ponto a ser mencionado é que comparando os dois equipamentos utilizados nos testes, a flotação pneumática tende a trabalhar em uma faixa de recuperação superior à flotação mecânica.

**Tabela 1.** Condição dos testes realizados

- Amina e amido dosados como coletor de silicatos e depressor de minerais portadores de ferro, respectivamente;
- Dosagem de amina EDAC em 110 g/t na célula pneumática e na célula convencional (Teste 1). Dosagem de Amina 2835 em 110 g/t na célula convencional (Teste 2);
- Dosagem de amido em 450 g/t nos três testes;
- Flotação em pH = 10,5;
- Polpa com 50% de sólidos;
- Vazão de ar em 125 L/h na flotação pneumática;
- 2 minutos para condicionamento do coletor e 5 minutos para condicionamento do depressor;
- Cinética de flotação em célula convencional realizada nos tempos: 0-15, 15-30, 30-60, 60-120, 120-240 e 240-480 segundos;
- Amostragem na flotação pneumática nos tempos: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 e 25 minutos.

**Tabela 2.** Granuloquímica do minério utilizado na alimentação dos testes

Tamanho ( $\mu\text{m}$ )	% da massa	Fe (%)	$\text{SiO}_2$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	P (%)
- 150 + 106	34%	14,68	78,40	0,12	0,02
- 106 + 75	15%	17,64	74,53	0,15	0,03
- 75 + 53	16%	24,37	65,15	0,13	0,03
- 53 + 45	10%	37,95	45,53	0,13	0,03
- 45 + 38	5%	44,67	34,32	0,11	0,04
- 38	19%	54,61	20,08	0,41	0,06

**Tabela 3.** Granuloquímica do concentrado da flotação pneumática indicando o elevado teor de sílica das frações grosseiras e não liberadas

Tamanho ( $\mu\text{m}$ )	% da massa	Fe (%)	$\text{SiO}_2$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	P (%)
- 150 + 106	18%	47,51	31,07	0,14	0,05
- 106 + 75	13%	59,26	13,54	0,12	0,08
- 75 + 53	15%	65,34	6,48	0,12	0,07
- 53 + 45	13%	67,78	2,96	0,12	0,07
- 45 + 38	14%	68,59	1,70	0,12	0,07
- 38	28%	68,83	1,60	0,19	0,08

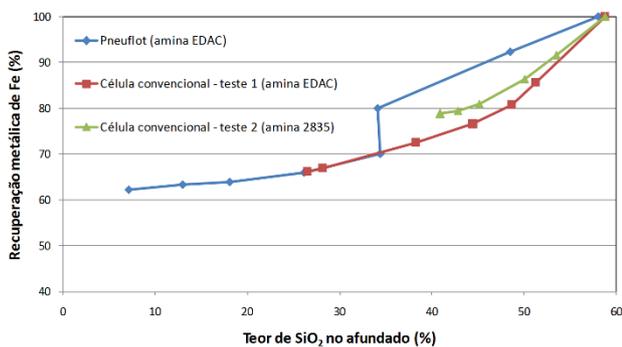


Figura 2. Variação da recuperação metálica x teor de SiO<sub>2</sub> no afundado.

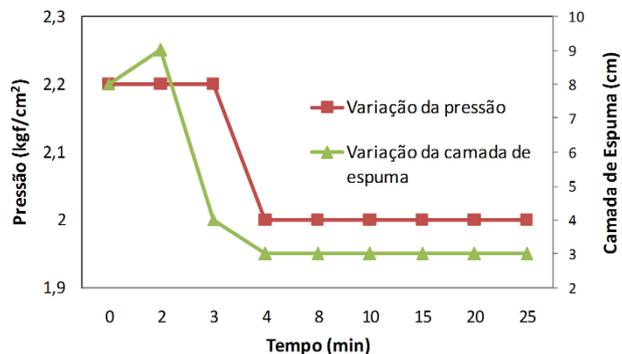


Figura 3. Variação da pressão e da camada de espuma na célula de flotação pneumática.

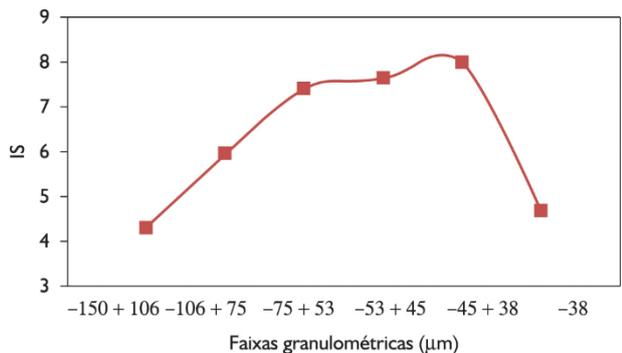


Figura 4. Índice de seletividade calculado para as faixas granulométricas.

A %Fe no rejeito ficou com valor médio de 13% na flotação pneumática, 14% na flotação convencional teste 2 e 15% na flotação convencional teste 1. Isto indica uma maior seletividade do processo na célula de flotação pneumática. Industrialmente são obtidos valores inferiores a 10%. Um estudo de otimização pode reduzir este valor conforme valores apresentados por Uliana [2] e Lima [3], que obtiveram, respectivamente, %Fe de 12,67% no rejeito e 2,52% de quartzo no concentrado e %Fe no rejeito de 8% e 1,74% de quartzo no concentrado.

A Figura 3 apresenta a variação na pressão da bomba que alimenta a flotação pneumática e a camada de espuma do teste realizado. A camada de espuma foi estabilizada com 4 minutos de teste e a pressão na saída da bomba se manteve constante também após 4 minutos, representando

um fluxo contínuo das condições de alimentação. Pela característica do equipamento de não possuir partes móveis como rotores e pela menor turbulência dentro da célula, a flotação pneumática opera com maior seletividade reduzindo o arraste dos minerais de ferro para o flotado.

O índice de seletividade de Gaudin (IS), Costa [6] e Luz et al. [7], foi calculado para as faixas granulométricas medidas na flotação pneumática segundo a Equação 1:

$$I.S = \sqrt{\left( \frac{R_{\text{útil}}}{R_{\text{ganga}}} \times \frac{(1 - R_{\text{ganga}})}{(1 - R_{\text{útil}})} \right)} \quad (1)$$

Onde:  $R_{\text{útil}}$  – recuperação de útil no concentrado;  
 $R_{\text{ganga}}$  – recuperação de ganga no concentrado.

A Figura 4 apresenta os índices obtidos. Pode-se supor que a sílica grosseira e as partículas mistas não foram conduzidas para o flotado, reduzindo a seletividade nas faixas maiores. No outro extremo, o baixo IS (comparado com as faixas granulométricas entre -106 µm e +38 µm) se deve ao arraste das partículas finas. Neste caso a flotação verdadeira do quartzo é prejudicada pela redução de colisão partícula/bolha inerente a todos os equipamentos. Na flotação pneumática acredita-se que esta deficiência seja menor.

#### 4 CONCLUSÃO

O estudo mostrou o potencial de aplicação da célula de flotação pneumática para a amostra de minério de ferro testado, pois o seu resultado foi superior às mesmas condições aplicadas às células mecânicas. A adequação granulométrica para a condição de liberação do minério deve ser realizada juntamente com novos testes para a confirmação dos resultados dentro das especificações de mercado. O equipamento se mostrou capaz de manter o controle da %Fe no flotado pela manutenção das suas variáveis (pressão e camada de espuma) ao longo do teste.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro; ao Departamento de Engenharia de Minas da UFMG pelo apoio na realização dos testes no Laboratório de Tratamento de Minérios com auxílio do estudante de graduação Lucas Magno e técnico Alberto Lúcio Afonso; a MBE Processamento Mineral do Brasil e a Anglo American pelo fornecimento das amostras para realização dos testes e pela análise química dos produtos, representada pelo gerente de desenvolvimento de processos José Russo e pelo técnico de mineração Júlio Silva.

## REFERÊNCIAS

- 1 Ören E, Markworth L, Heever JVD. Pneumatic flotation challenges conventional technology. *E&MJ Engineering and Mining Journal*. 2013. Disponível em: [www.e-mj.com](http://www.e-mj.com).
- 2 Uliana A, Júnior LCA, Araújo V. Aplicação de células pneumáticas de flotação no processo de concentração de minério de ferro da Samarco Mineração S.A. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro; 2013; Belo Horizonte, Brasil. São Paulo: ABM; 2013. p. 635-642.
- 3 Lima NP. Avaliação da flotação pneumática para minério de ferro. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro; 2013; Belo Horizonte, Brasil. São Paulo: ABM; 2013. p. 581-588.
- 4 Yianatos JB. Fluid flow and kinetic modelling in flotation related processes: columns and mechanically agitated cells. A review. *Chemical Engineering Research & Design*. 2007;85(A12):1591-1603. <http://dx.doi.org/10.1205/cherd07068>.
- 5 Turrer HDG, Sawasato EY, Guimarães FR, Magalhães CR, Dias GS, Russo JC, et al. Avaliação do consumo energético na moagem de dois diferentes tipos litológicos do depósito da Serra do Sapo. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro; 2013; Belo Horizonte, Brasil. São Paulo: ABM; 2013. p. 278-286.
- 6 Costa JL. Seletividade na flotação de minérios ferríferos dolomíticos [dissertação de mestrado]. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. Engenharia de Minas; 2009.
- 7 Luz AB, Sampaio JA, França SCA. Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2010.

Recebido em: 20 Nov. 2014

Aceito em: 13 Fev. 2015